

## Self-Organizing Mapを用いた トポロジー最適解の探索

- 申 鉉眞 (Hyunjin SHIN: Graduate school of  
Tokyo Institute of Technology)  
平野 義鎮 (Yoshiyasu HIRANO: JAXA)  
轟 章 (Akira TODOROKI: Tokyo Institute of Technology)

Dec, 09, 2011

Tokyo Institute of Technology  
Todoroki - Mizutani Lab.



## 研究背景

### 超音速飛行機

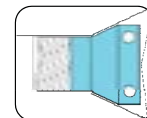
- 高速性
- 経済性
- 環境適合性



- ✓ 軽量化
- ✓ 薄翼構造

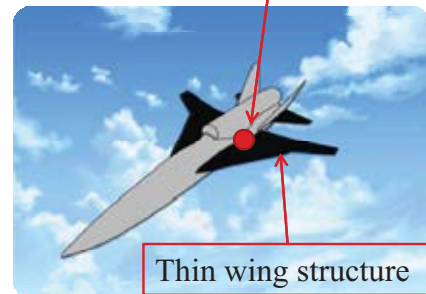


翼胴結合金具



### 金具設計の問題点

- ✓ 翼内の設計空間が小さい(薄翼構造)
- ✓ 高剛性が必要
- ✓ 空力荷重による様々な負荷荷重
- ✓ 軽量化が必要

Thin wing structure  
超音速飛行機の例

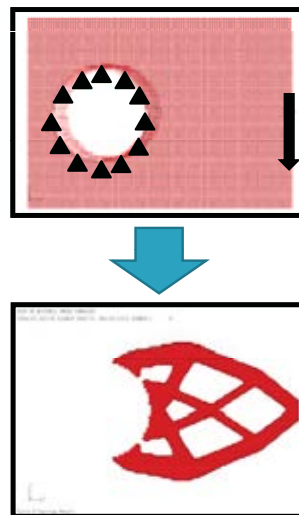
## 研究背景

### トポロジー最適化

- 一定の設計空間の中で最適な構造のレイアウトを探索する手法

### トポロジー最適化の問題

- 様々な要因による最適解の変動
  - ✓ 設計領域範囲, メッシュ分割
  - ✓ 負荷荷重が2つ以上の場合
  - 目的関数の線形結合の方法等



トポロジー最適化の例



## 研究背景

### トポロジー最適解析

- 様々な荷重条件によるトポロジー最適解析の変動
- 荷重条件 (様々な空力荷重を想定)

単一目的トポロジー最適解析

多目的トポロジー最適解析



トポロジー最適解群算出

### 自己組織化マップ (Self-Organizing Map : SOM)

- 高次元データをその間に存在する非線形な統計的關係に従い、人間が理解し易い低次元の離散化されたマップ上に射影して分類する手法



## 研究目的

トポロジー最適解析



トポロジー最適解群算出



トポロジー最適群



形状を表現する特徴を抽出



形状を表現する入力データを指標とし,  
Self Organizing Mapを用いて分類

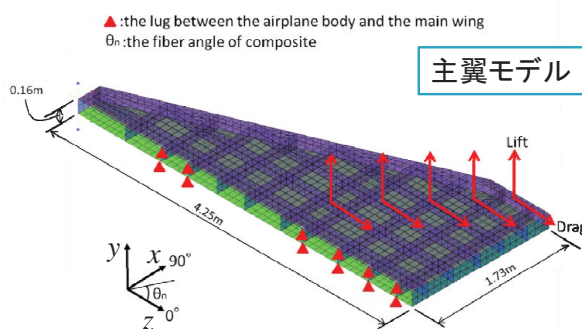
トポロジー最適化による多数の最適解群を自己組織化マップ(SOM)を用いて分類し, 形状の特徴を理解することで, 最適な翼胴結合金具の形状の探索を試みる.



Tokyo Institute of Technology

5

## 主翼構造



主翼モデル

- ✓ 翼厚は16cmにし, 単純化
- ✓ 桁とリブはサンドイッチ構造

$$\checkmark \text{ 揚力 } C_L = \text{Lift} / \left( \frac{1}{2} \rho V^2 S_w \right)$$

$$\checkmark \text{ 抗力 } C_D = \text{Drag} / \left( \frac{1}{2} \rho V^2 S_w \right)$$

翼の面積:  $S_w$ 

### Condition of the main wing model

#### Load Condition

- Flight altitude = 15km
- Mach = 1.6
- lift coefficient = 0.1
- lift-drag ratio = 9

#### Material Properties

- $E_L = 167 \text{ GPa}$  (T800/3630)
- $E_T = 9 \text{ GPa}$
- $G_{LT} = 5 \text{ GPa}$
- $\nu_L = 0.3$

#### 金具の最大反力

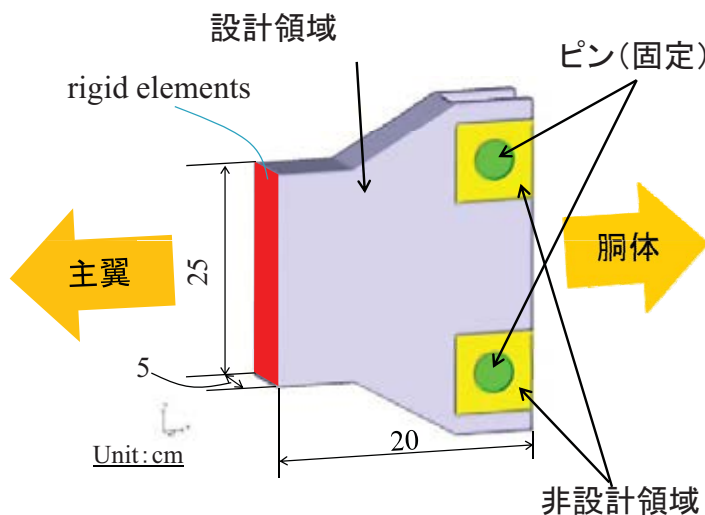
	x方向	y方向	z方向
Unit:[kN]	114~128	14~16	5~8



Tokyo Institute of Technology

6

## 翼胴結合金具モデル



チタン合金 (Ti-6Al-4V)

$E=113.8\text{GPa}$

ポアソン比=0.34

CHEXA要素

## トポロジー最適解析

### 単一目的トポロジー最適解析

#### 最適解析条件

- 目的関数: コンプライアンス最小化 (ひずみエネルギー最小化)
- 拘束条件: 荷重の全設計領域の40%以下
- 設計変数: 各要素の密度

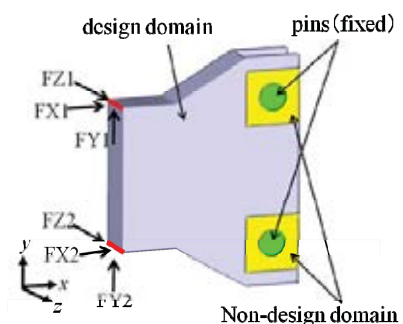
#### 荷重条件

- せん断力
  - ねじりモーメント
  - 曲げモーメント
- ➡ ✓ 単独に負荷した場合(3ケース)  
✓ 同時に負荷した場合(4ケース)

### トポロジー最適解群の生成

形状の特徴抽出

SOM分類



# トポロジー最適解析

## 多目的トポロジー最適解析 (Weighted Min-Max method)

### 最適解析条件

- 目的関数:  $\beta$  の最小化  
(各荷重ケースのひずみエネルギーの最小化)
- 拘束条件: 荷重の全設計領域の40%以下

$$w_i(s.e_i / s.e_i^o) - \beta \leq 0.0; \quad i = 1, 2, 3$$

- 設計変数: 各要素の密度  $s.e_i^o$ : the strain energy of the utopia point

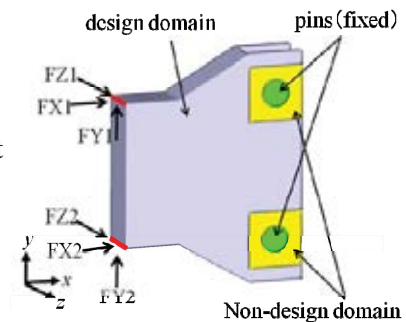
### 荷重条件

- せん断力
- ねじりモーメント
- 曲げモーメント

## トポロジー最適解群の生成

形状の特徴抽出

SOM分類



# トポロジー最適解析

## 多目的トポロジー最適解析 (Weighted Min-Max method)

### 最適解析条件

- 目的関数:  $\beta$  の最小化  
(各荷重ケースのひずみエネルギーの最小化)
- 拘束条件: 荷重の全設計領域の40%以下

$$w_i(s.e_i / s.e_i^o) - \beta \leq 0.0; \quad i = 1, 2, 3$$

- 設計変数: 各要素の密度  $s.e_i^o$ : the strain energy of the utopia point

### 荷重条件

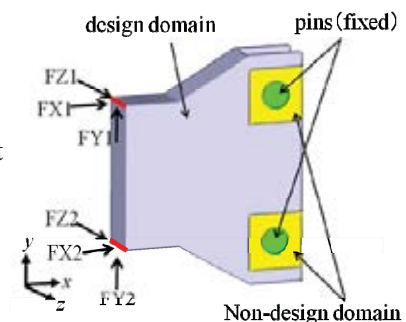
- せん断力
- ねじりモーメント
- 曲げモーメント

Latin Hypercube Sampling  
20samples

## トポロジー最適解群の生成

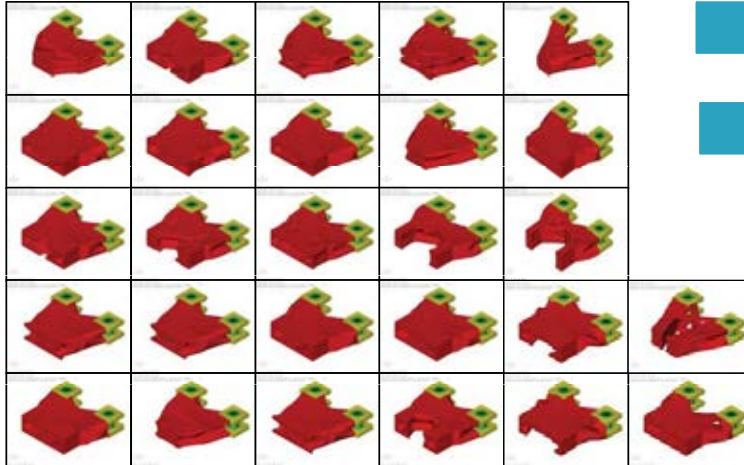
形状の特徴抽出

SOM分類



## トポロジー最適解群

### 生成したトポロジー最適解群



### トポロジー最適解群の生成

形状の特徴抽出

SOM分類



Tokyo Institute of Technology

11

## トポロジー最適解の形状特徴抽出

### Grid Based 手法

- 画像イメージを表現する方法
- 要素が存在する所は1  
存在しない所は0
- 実行の簡単さ
- 数値計算との適合性が高い
- 3次元に拡張するためには、要素数が多くなり、高計算コストが必要
- 分割数による形状の分類精度に対する検証が必要。

### 形状的の特徴

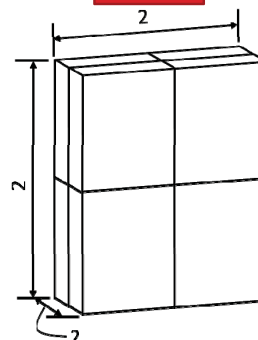
- 各セルに存在する要素の数。

### トポロジー最適解群の生成

形状の特徴抽出

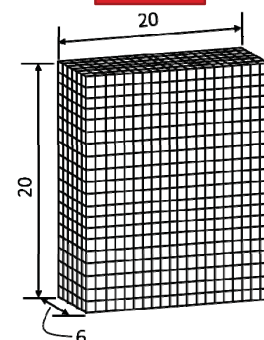
SOM分類

#### ケース1



8個セルに分割

#### ケース2



2400個セルに分割



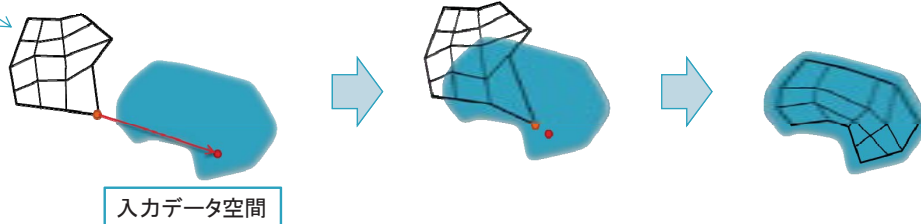
Tokyo Institute of Technology

12

## 自己組織化マップ(SOM)

➤高次元データをその間に存在する非線形な統計的關係に従い、人間が理解し易い低次元の離散化されたマップ上に射影して分類する手法

d次元参照ベクトル:  $m=[m_1, \dots, m_d]$



➤類似性はEuclidian 距離

➤Best Matching Unit(BMU)

入力ベクトル $x$  と類似性が高い参照ベクトル

$$\|x - m_c\| = \min \{\|x - m_i\|\}$$

➤ 参照ベクトルの更新

$$m_i(t+1) = m_i(t) + \alpha(t)h_{ci}(t)[x(t) - m_i(t)]$$

$\alpha(t)$  : 学習率  
 $h_{ci}(t)$  : 近傍半径

MATLAB SOM Toolbox

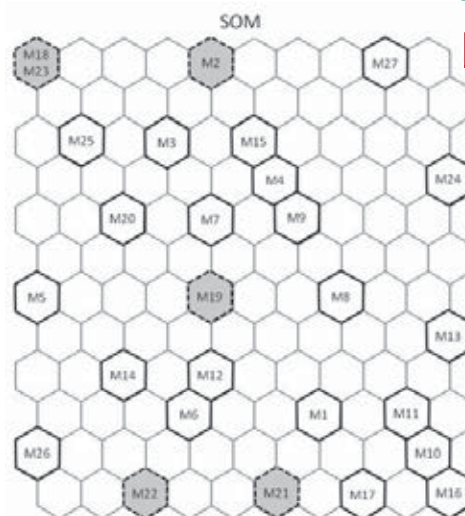
## 分類結果

ケース 1: 8個のセルに分割した場合

SOMの入力データ

→ セルの中に存在する要素数

トポロジー最適解27個



トポロジー最適解群の生成

形状の最適化

SOM分割

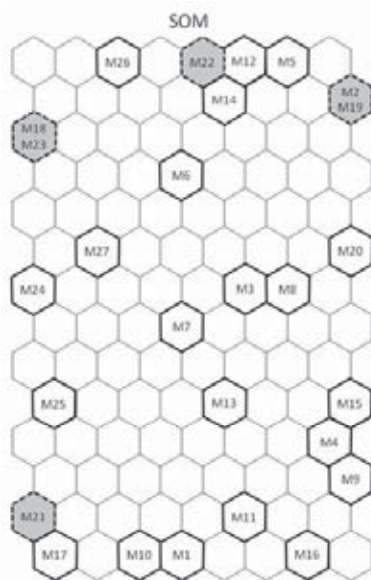


## 分類結果

### ケース 2: 2400個のセルに分割した場合

SOMの入力データ  
→ セルの中に存在する要素数

トポロジー最適解27個



トポロジー最適解群の生成



形状の特徴抽出



SOM出力



Tokyo Institute of Technology

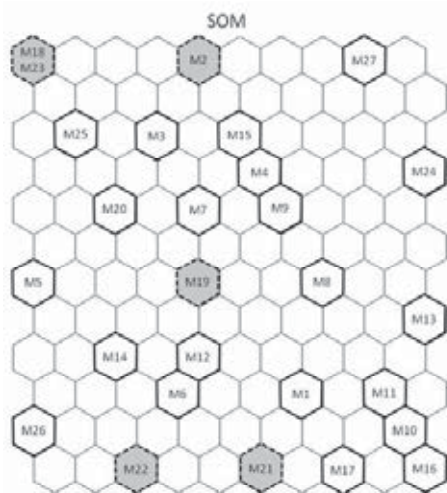
15

## 分類結果の比較

ケース 1: 8個のセル



ケース 2: 2400個のセル



Tokyo Institute of Technology

16

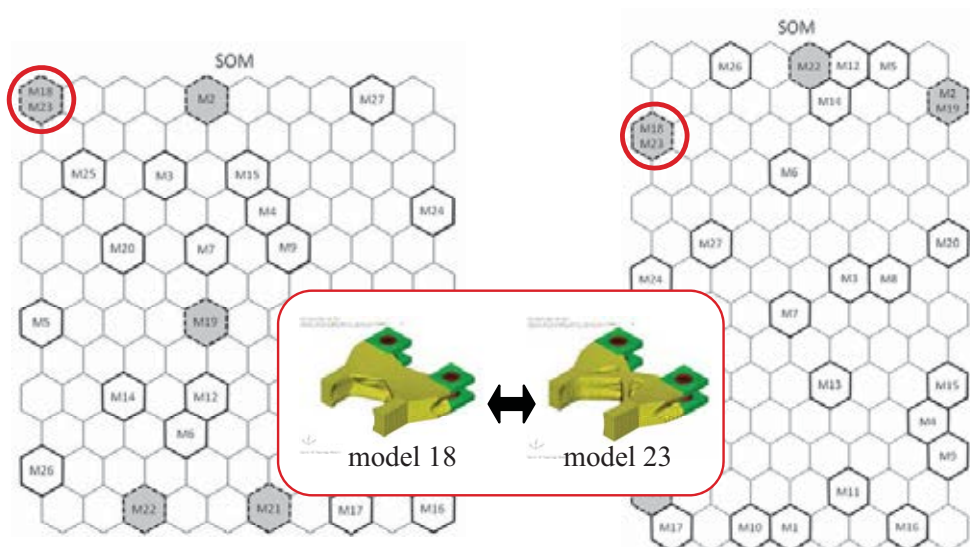


## 分類結果の比較(1)

ケース 1: 8個のセル



ケース 2: 2400個のセル



Tokyo Institute of Technology

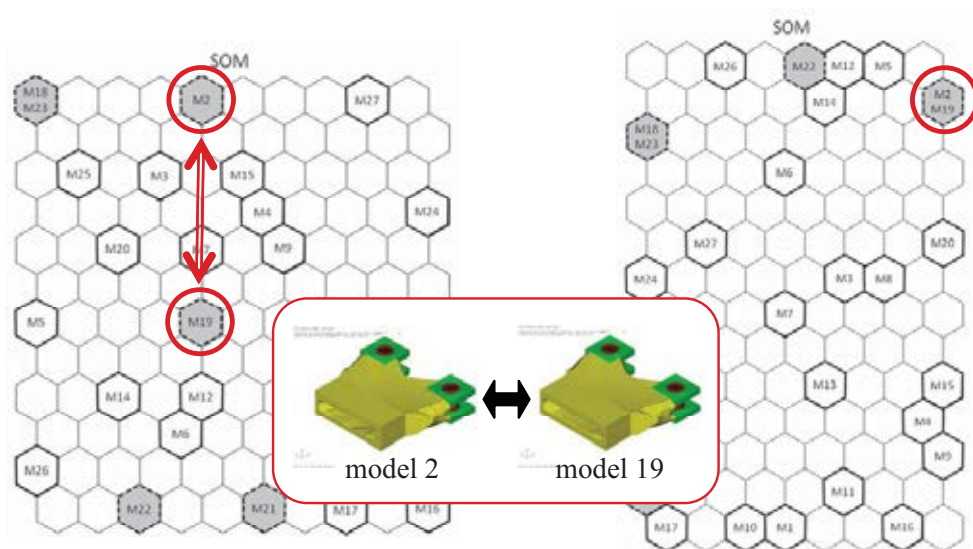
17

## 分類結果の比較(2)

ケース 1: 8個のセル



ケース 2: 2400個のセル

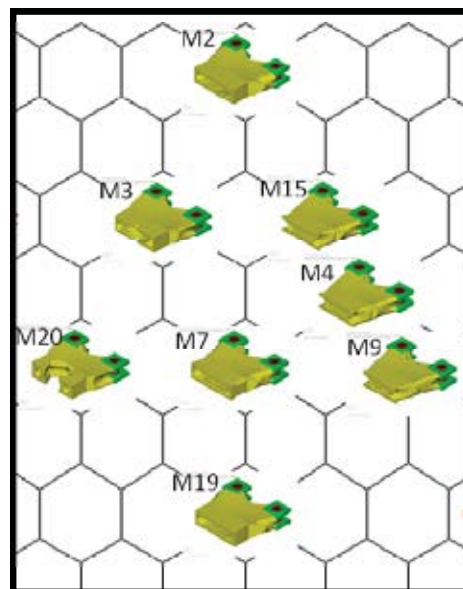
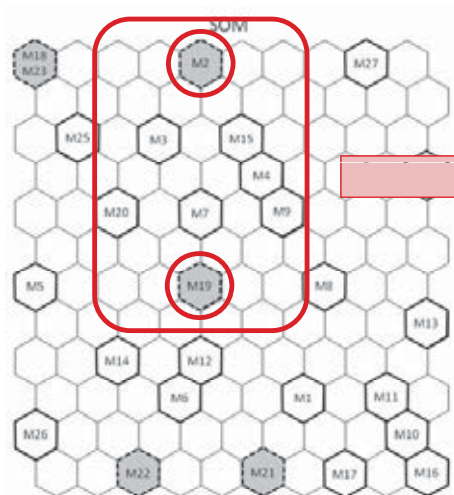


Tokyo Institute of Technology

18

## 分類結果の比較(2)

ケース 1: 8個のセル

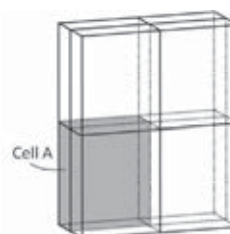
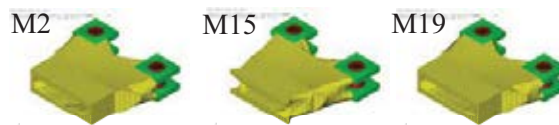
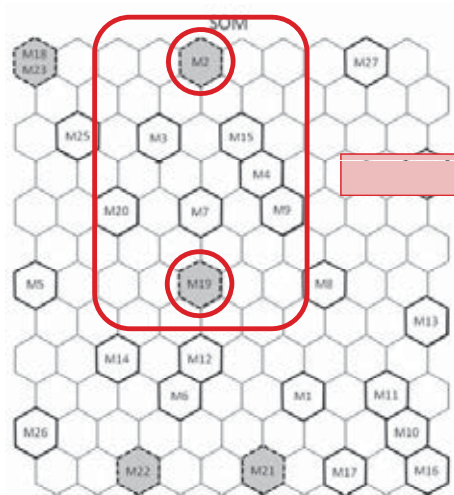


Tokyo Institute of Technology

19

## 分類結果の比較(2)

ケース 1: 8個のセル



セルAにおける要素数

	Model 2	Model 15	Model 19
Density at cell A [elements/cell]	4280	4421	4476



Tokyo Institute of Technology

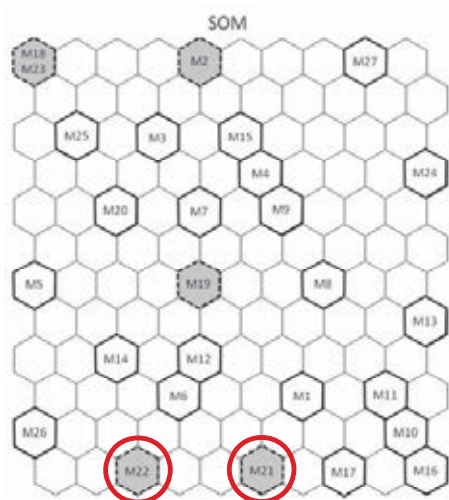
20

## 分類結果の比較(3)

ケース 1: 8個のセル



ケース 2: 2400個のセル



Tokyo Institute of Technology

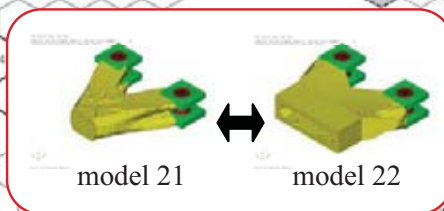
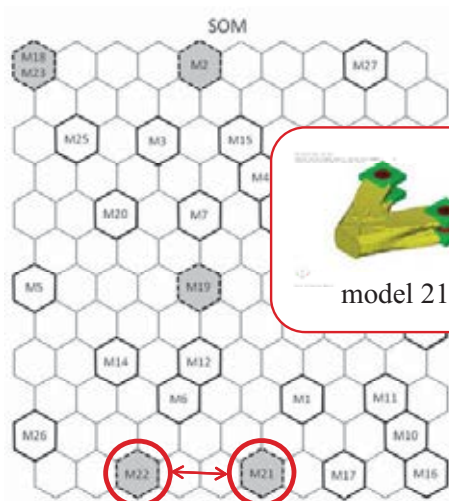
21

## 分類結果の比較(3)

ケース 1: 8個のセル



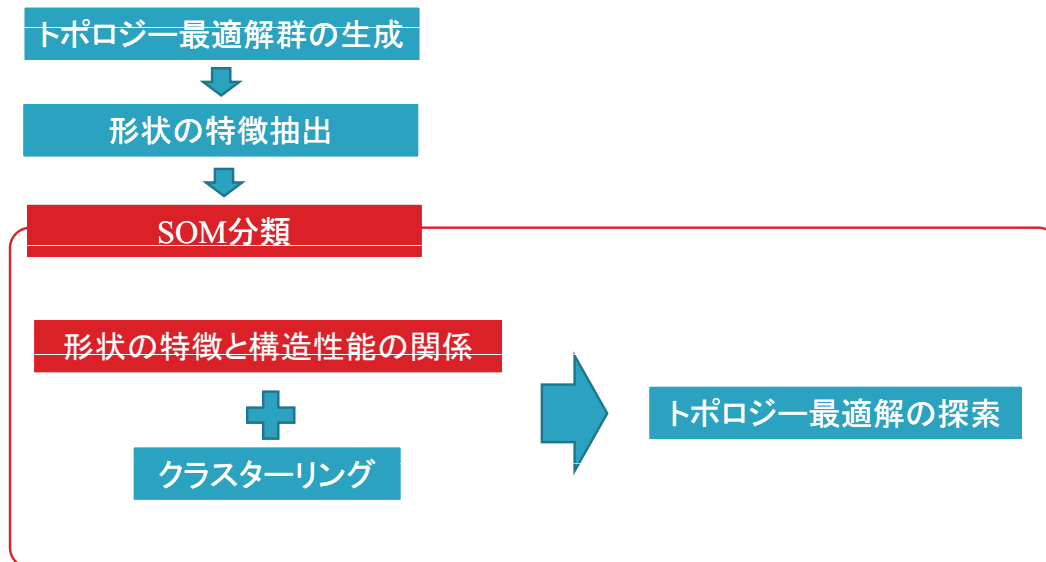
ケース 2: 2400個のセル



Tokyo Institute of Technology

22

# トポロジー最適解探索の流れ

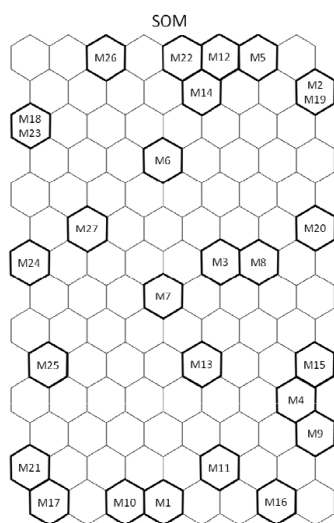


Tokyo Institute of Technology

23

## 形状の特徴と構造性能の関係

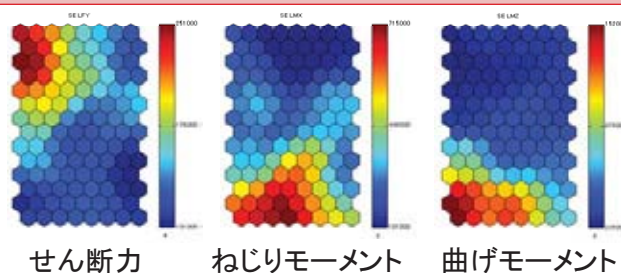
### ケース 2: 2400個のセル



### トポロジー最適解群

- ✓入力データ:  
各セルの要素数
- ✓トポロジー最適化  
各荷重に対するひずみエネルギー

### 各荷重ケースにおけるひずみエネルギーSOMパターン

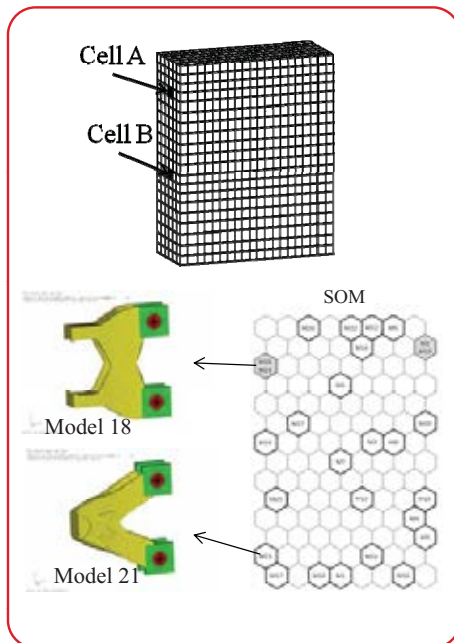


Tokyo Institute of Technology

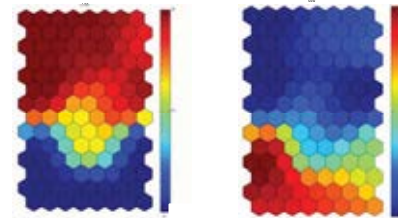
24



## 形状の特徴と構造性能の関係



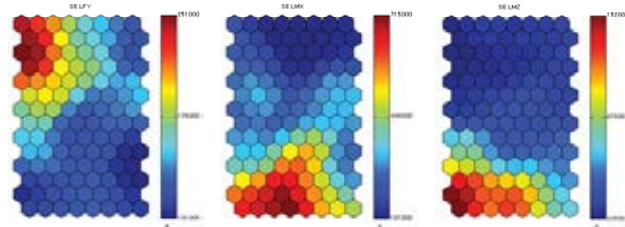
入力データ: 各セルの要素数のパターン



セルA

セルB

各荷重ケースにおけるひずみエネルギーSOMパターン



せん断力

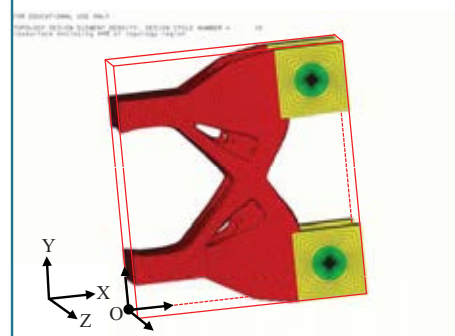
ねじりモーメント

曲げモーメント

## 統計的な形状の特徴

### 要素の分布に対する統計的な値

- 形状の重心  $X_{gc}$ ,  $Y_{gc}$ ,  $Z_{gc}$
- $(X_i - X_{gc})$  の二乗平均  
(X方向平均分散:  $V[X]$ ),  $V[Y]$ ,  $Z[Y]$
- $(X_i - X_{gc})$  と  $(Y_i - Y_{gc})$  の積の平均  
(XとYの共分散:  $Cov(X, Y)$ ),  $Cov(Y, Z)$ ,  $Cov(Z, X)$
- $(X_i - X_{gc})^2$  と  $(Y_i - Y_{gc})$  の積を平均した値.  
(Xの平均分散とYの共分散)  $Cov(V[X], Y)$ ,  
 $Cov(V[X], Z)$ ,  $Cov(V[Y], X)$ ,  $Cov(V[Y], Z)$ ,  
 $Cov(V[Z], X)$ ,  $Cov(V[Z], Y)$
- 断面2次モーメント  $I_{xx}$ ,  $I_{yy}$ ,  $I_{zz}$ ,  $J$

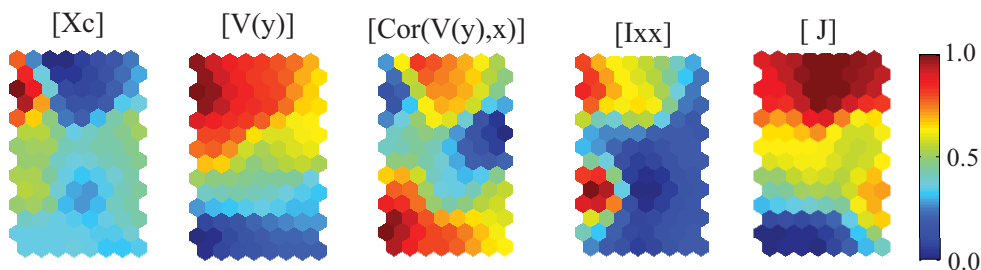


トポロジー最適解の例

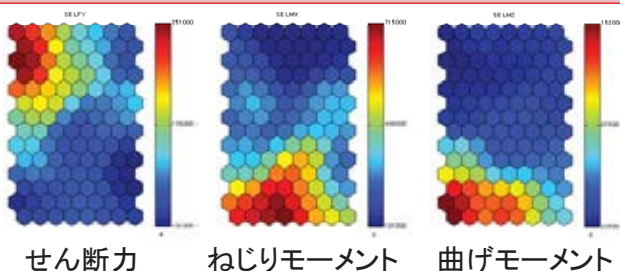
➡ 全体的な形状の特徴がわかる

## 形状の特徴と構造性能の関係

統計的な要素の特徴を表現する値のSOMパターンの例



各荷重ケースにおけるひずみエネルギーSOMパターン



✓比較がより容易

形状を表現するパターン



構造性能を表現するパターン

## 形状の特徴と構造性能の関係

### SOMパターン比較の問題点

✓多数のパターンをそのまま人間の感覚で類似性を判断することは難しい

### SOMのSOM

➤各々のパターンに対応するベクトルを用いて共分散行列を計算し、その共分散値に基づいて再びSOMで分類する手法

### 本研究では

SOMの入力データ

→ パターンに対応するベクトル

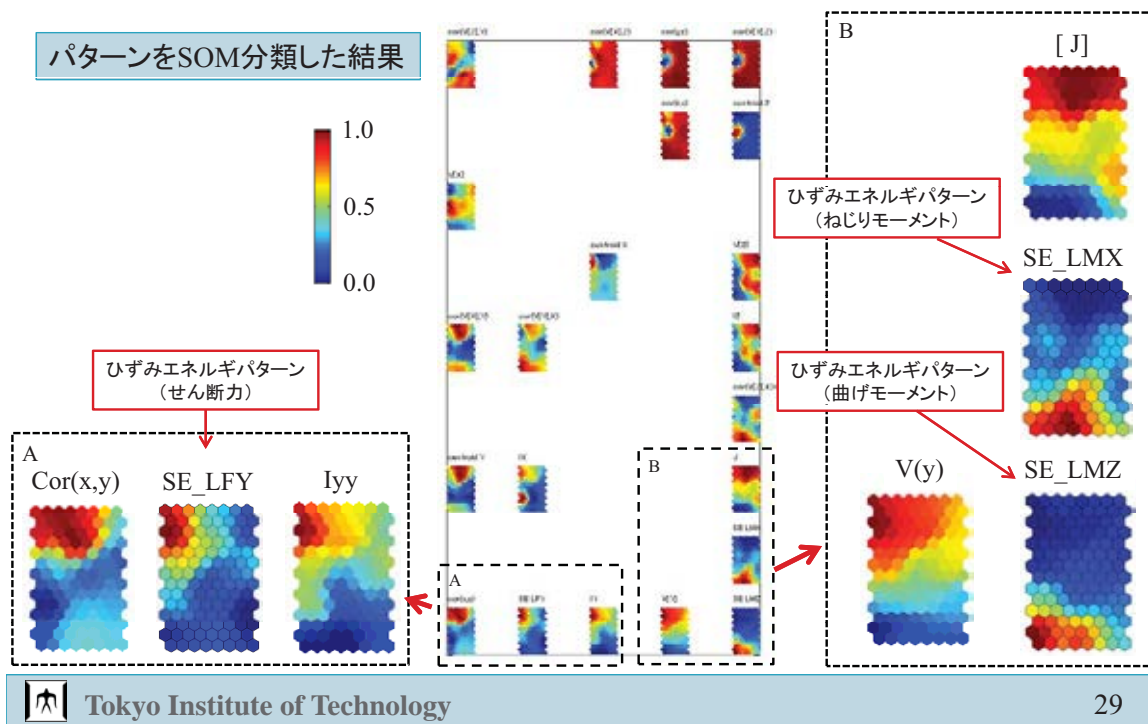
分類した対象パターン

✓要素の分布を統計的に表現した値におけるSOMパターン

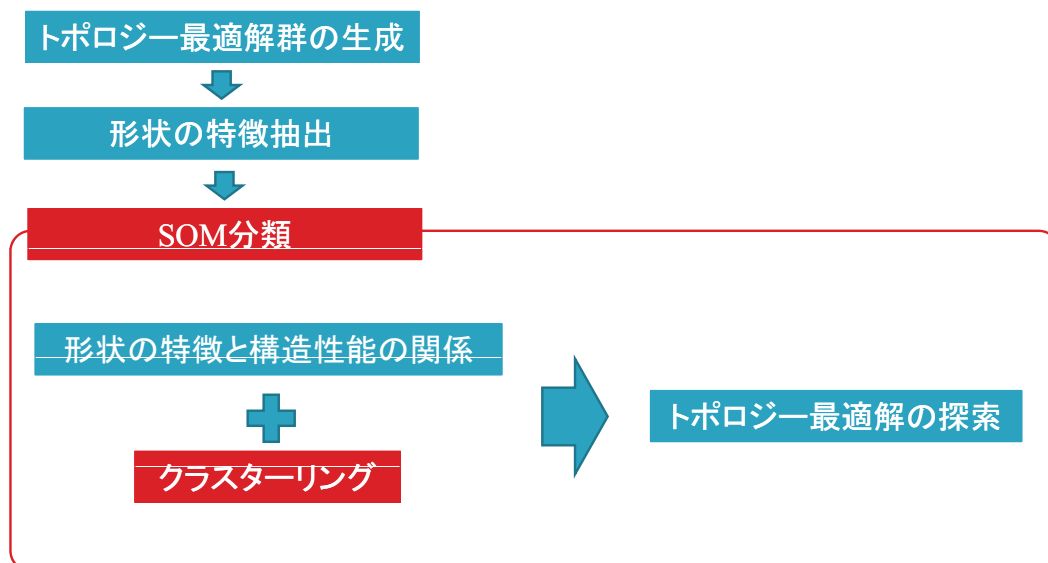
✓3つの荷重ケースにおけるひずみエネルギーパターン



## パターンのSOM分類結果



## トポロジー最適解探索の流れ



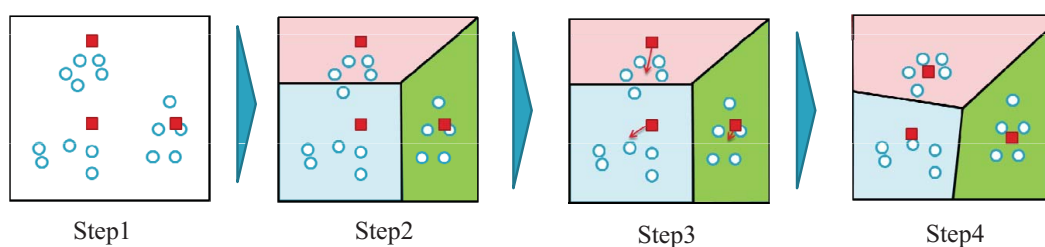
## クラスタリング

➤クラスタリングはあるモデルの周りにある形状との距離に基づいてグルーピングする手法

➤グループの数とそのグループを求め、代表的な形状を選出

➤k-means法

k=3の場合の例

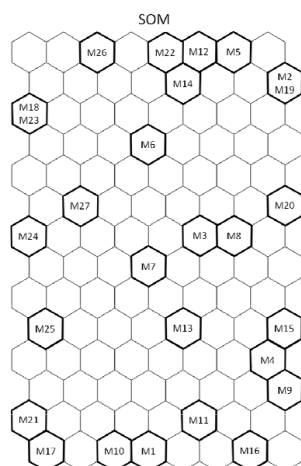


Tokyo Institute of Technology

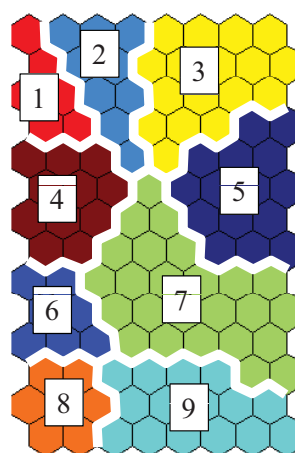
31

## クラスタリングの結果

2400個のセルの場合



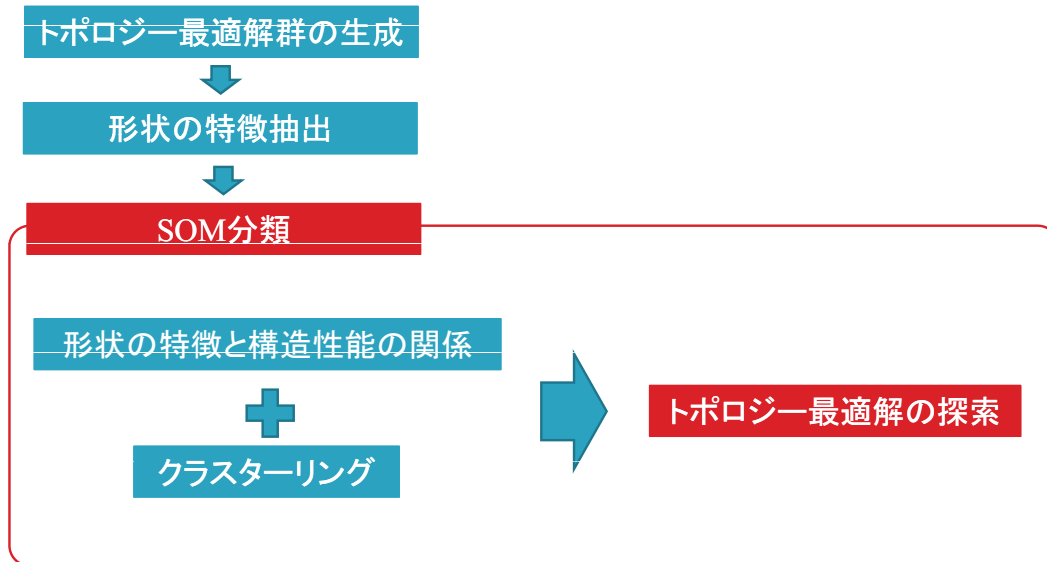
クラスタリング結果



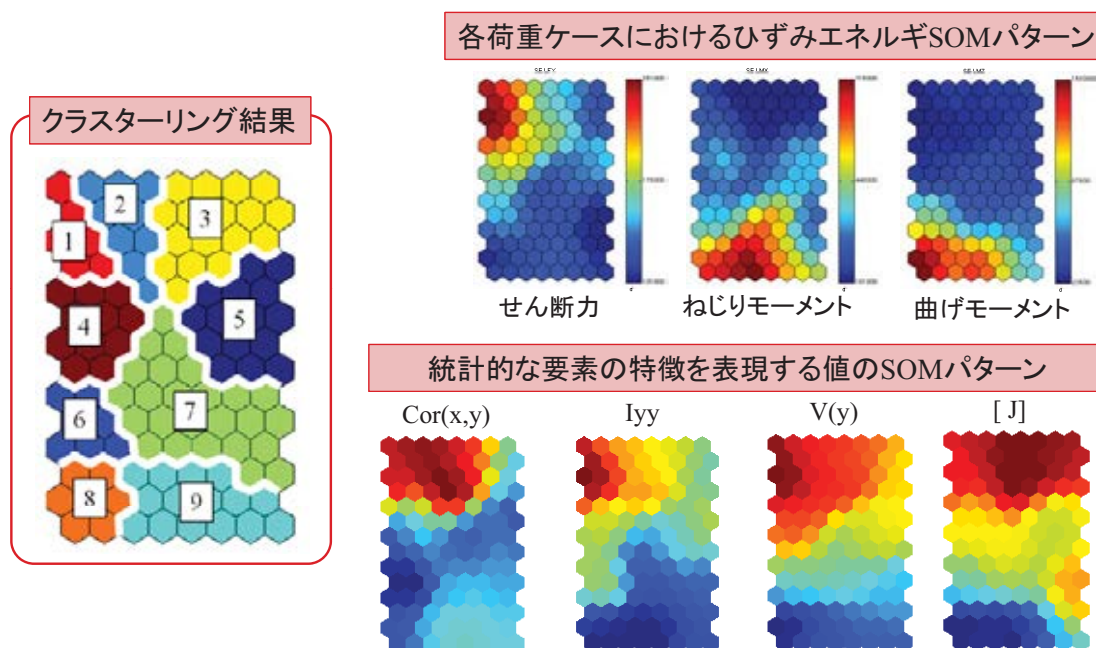
Tokyo Institute of Technology

32

# トポロジー最適解探索の流れ



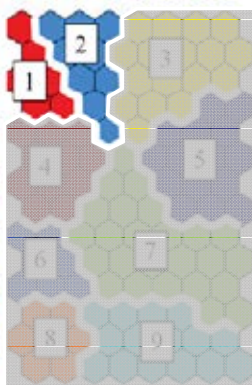
# トポロジー最適解探索



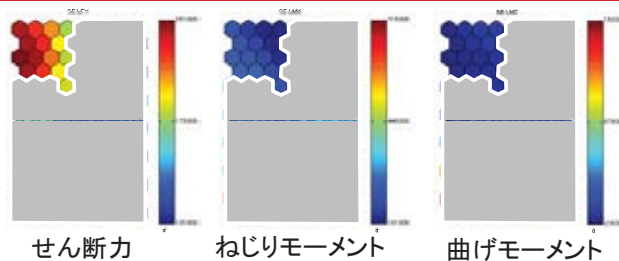
# トポロジー最適解探索

## クラスター1,2

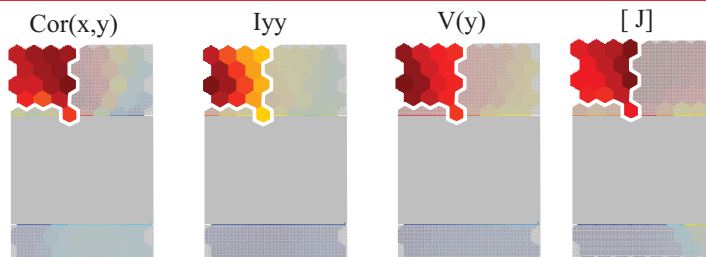
### クラスターリング結果



### 各荷重ケースにおけるひずみエネルギーSOMパターン



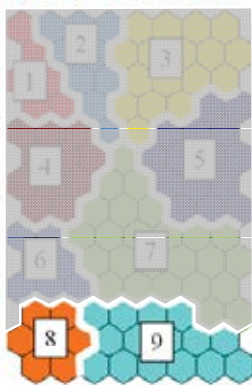
### 統計的な要素の特徴を表現する値のSOMパターン



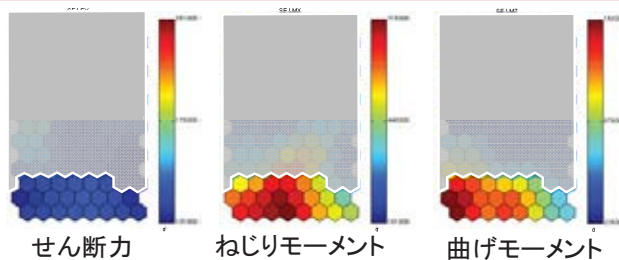
# トポロジー最適解探索

## クラスター8,9

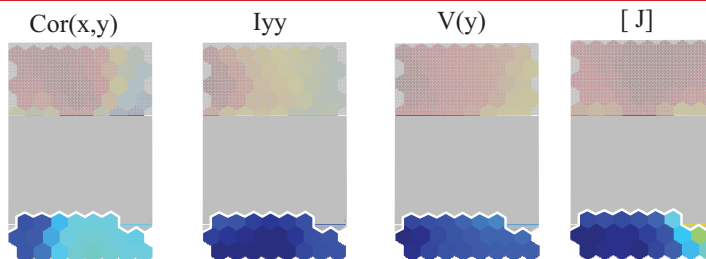
### クラスターリング結果



### 各荷重ケースにおけるひずみエネルギーSOMパターン



### 統計的な要素の特徴を表現する値のSOMパターン



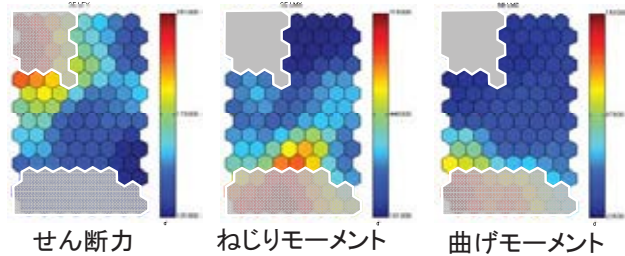
# トポロジー最適解探索

## クラスター3,4,5,6,7

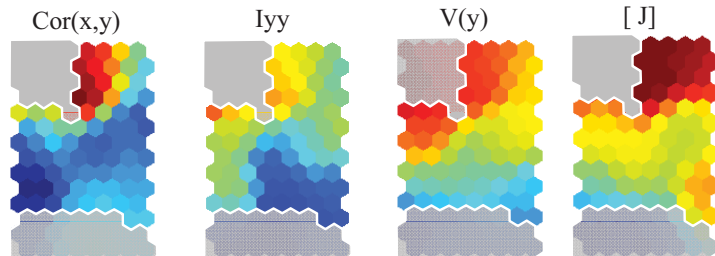
### クラスターリング結果



### 各荷重ケースにおけるひずみエネルギーSOMパターン

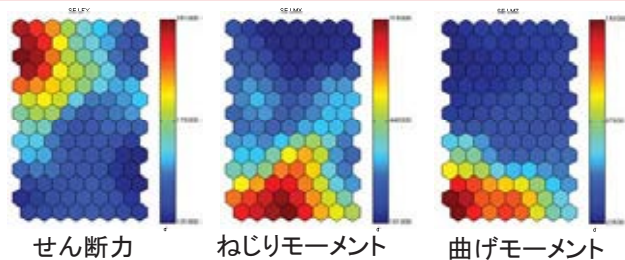


### 統計的な要素の特徴を表現する値のSOMパターン

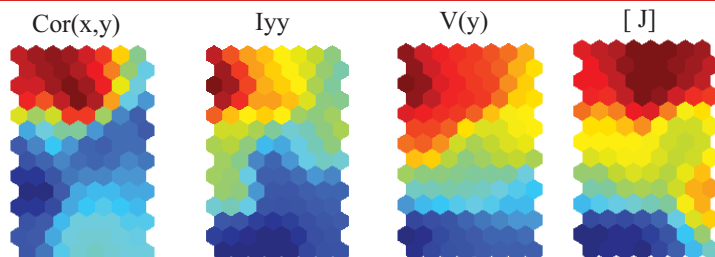


# トポロジー最適解探索

### 各荷重ケースにおけるひずみエネルギーSOMパターン



### 統計的な要素の特徴を表現する値のSOMパターン





## トポロジー最適解探索



	ノードA	ノードB
形状		
断面形状		

## 結言

- ◆ トポロジー最適解の形状的な特徴を表すために、設計空間を分割し、その空間ごとの要素密度を用いる手法を示した。
- ◆ SOMの結果をより効果的に調べるために、統計的な要素密度の分布値を用いる手法を提案した。
- ◆ 形状特徴のパターンとひずみエネルギーパターンを比較し、各々の位相的特徴とひずみエネルギーの関係を明確にした。また、クラスタリングを用い、各々のクラスターの特徴を明確にした。





ご清聴ありがとうございました.